

ANALISIS HUBUNGAN ANTARA TEMPERATUR CETAKAN PADA PENGECORAN LOGAM ALUMINIUM TERHADAP POROSITAS HASIL CORAN DAN DIUJI MENGGUNAKAN METODE *NON DESTRUKTIF*

Addinul Haqqi

D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: addinulhaqqi@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Salah satu penyebab terjadinya cacat porositas pada pengecoran logam adalah temperatur cetakan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui hubungan antara temperatur cetakan dengan cacat porositas. Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif dengan metode analisis data korelasi. Adapun variable yang terdapat pada tugas akhir ini adalah variable terikat yaitu cetakan logam, variable bebas yaitu variasi temperatur cetakan dan variable kontrol yaitu logam aluminium dan tungku peleburan. Dalam penelitian pengecoran logam ini peneliti menggunakan bahan dasar logam aluminium. Hasil yang didapat dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara temperatur cetakan terhadap porositas hasil coran adalah kuat berlinear negatif. Yaitu ketika variabel X mengalami kenaikan maka variabel Y mengalami penurunan ataupun sebaliknya. Hal ini ditunjukkan dengan hasil perhitungan menggunakan rumus pearson dengan hasil nilai - 99.

Kata Kunci: Cairan Penetran, Pengecoran Timah, Porositas, Variasi Temperatur.

Abstract

One of the causes of porosity defects in metal casting is the mold temperature. The purpose of this study is to determine the relationship between mold temperature and porosity defects. The type of research conducted is descriptive research with correlation data analysis methods. The variables contained in this final project are bound variables, namely metal molds, independent variables, namely mold temperature variations and control variables, namely aluminum metal and melting furnace. In this metal casting research researchers used aluminum metal base material. The results obtained in this study indicate that the relationship or correlation between the mold temperature and porosity of the results of the castings is strong with negative linearity. That is, when the variable X experiences an increase, the variable Y decreases or vice versa. This is indicated by the results of calculations using Pearson formula with the value of - 99.

Keywords: Detection Liquid, Tin Casting, Porosity, Temperature Variation.

PENDAHULUAN

Pengecoran Logam adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga cetak (*cavity*) sesuai dengan bentuk atau desain yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga cetak dan tersolidifikasi, sehingga menjadi benda kerja sesuai dengan yang kita inginkan..

Aluminium merupakan unsur yang paling melimpah di bumi dan terdapatnya selalu berupa kombinasi dengan unsur lain. Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Sifat logam aluminium ini ringan, tidak magnetik dan tidak mudah terpercik, merupakan logam kedua termudah dalam soal pembentukan, dan ke-enam dalam soal

ductility. Aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi bangunan dan ribuan aplikasi lainnya.

Pengecoran aluminium adalah suatu proses penuangan logam cair aluminium yang dimasukkan kedalam cetakan, kemudian dibiarkan membeku didalam cetakan dan kemudian dikeluarkan. Faktor-faktor dari luar juga mempengaruhi hasil dalam proses pengecoran logam aluminium, yaitu bahan yang digunakan baik material pengecoran maupun temperatur peleburan logam, ditambah pula lingkungan dalam pembuatan benda kerja, dan cuaca yang kurang baik juga mempengaruhi hasil pengecoran.

Porositas adalah suatu cacat pada produk cor yang dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan adalah temperatur tuang dan temperatur cetakan. Cacat porositas ada hubungannya dengan cacat penyusutan. Cacat

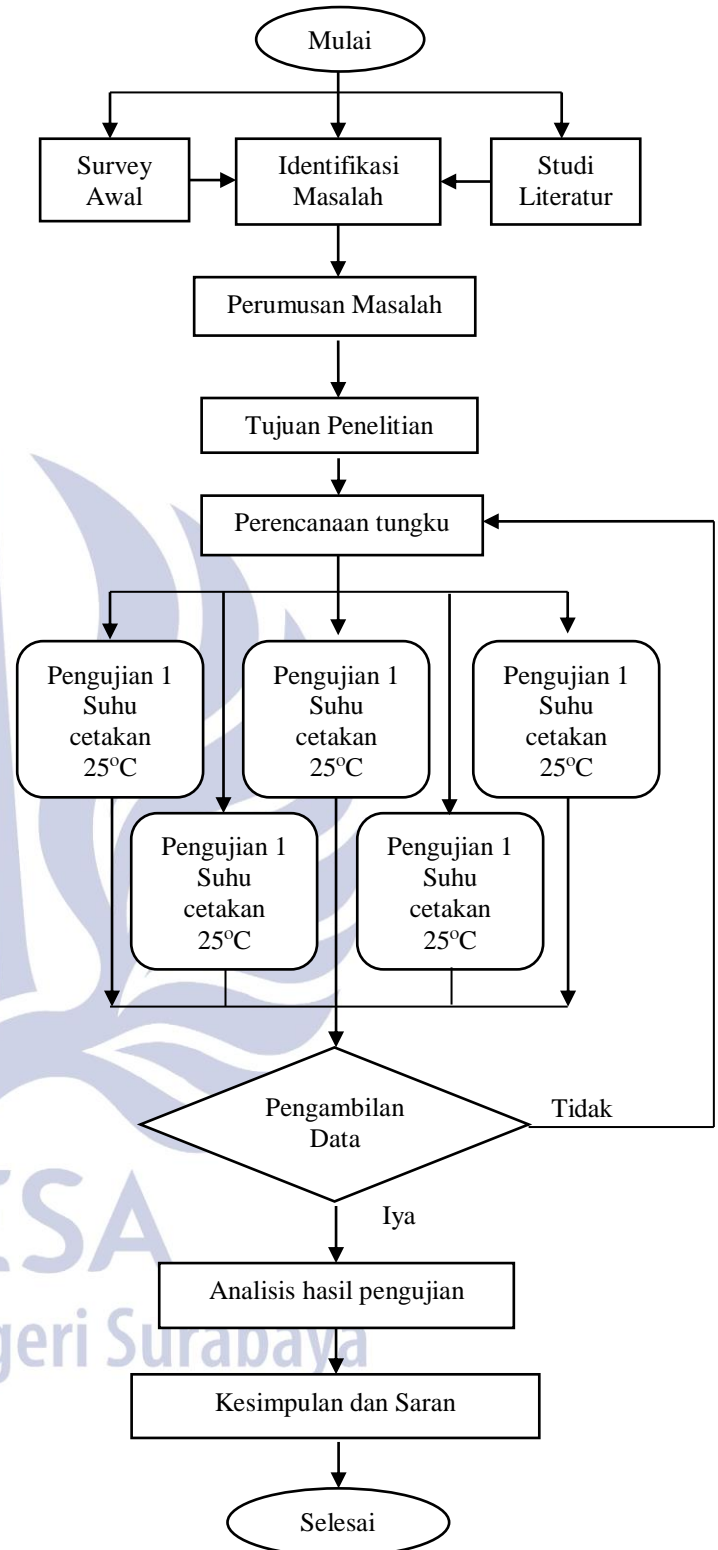
penyusutan antara lain disebabkan pembekuan yang tidak merata pada produk. Pengujian yang digunakan untuk mengetahui cacat keretakan dan porositas yaitu pengujian penetrant.

Cacat yang sering terjadi pada metode pengecoran salah satunya adalah porositas (berlubang). Untuk menghindari cacat porositas (berlubang) penulis mencoba melakukan pengujian dengan melakukan perubahan terhadap temperatur cetakan. Karena bisa jadi cacat porositas (berlubang), terjadi pada temperatur cetakan pada pengecoran logam aluminium.

Dibutuhkan metode yang baku untuk dapat menganalisa hasil kualitas pengecoran aluminium sampai didapat apa saja faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil kualitas pengecoran dan diketahui langkah-langkah perbaikan kualitas didalam pengecoran tersebut. Berdasarkan uraian diatas penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “analisis hubungan antara temperatur cetakan pada pengecoran logam aluminium terhadap porositas hasil coran dan diuji menggunakan metode *non destruktif*”.

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini yaitu mengetahui hubungan temperatur cetakan dengan porositas hasil coran logam aluminium dan mengetahui cara mengukur porositas benda hasil coran dengan menggunakan metode *non destruktif*. Adapun manfaat adanya penulisan tugas akhir ini adalah sebagai sumber belajar untuk mata kuliah ilmu bahan terutama pada praktik pengecoran logam di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, sebagai pertimbangan dan perbandingan bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin untuk mengembangkan penelitian sejenis dimasa yang akan datang

METODE



Gambar 1. Flow Chart Metode Penelitian

majalah, prasasti, notulen rapat, lengger, agenda dan sebagainya. Metode ini digunakan untuk memperoleh data-data yang berkaitan dengan pengecoran logam yang akan diteliti.

• Metode observasi

Metode observasi digunakan sebagai penunjang dalam melakukan penelitian, metode ini digunakan untuk mengamati bagaimana tingkat keberhasilan dalam proses pengecoran logam timah.

Teknik Analisa Data

Teknik analisa data merupakan suatu langkah yang paling menentukan dari suatu penelitian, karena analisa data inilah akan nampak manfaat terutama dalam memecahkan masalah penelitian dan mencapai tujuan akhir penelitian. Proses analisis data akan dilakukan setelah melalui proses klasifikasi pengelompokan dan pengategorian data ke dalam klas-klas yang telah ditentukan. Analisis data yang dilakukan adalah korelasi. Analisis data dapat dilakukan melalui tahap berikut ini (Suharsimi Antikunto, 1997):

• Persiapan

Kegiatan dalam langkah persiapan ini antara lain:

- Mengece kelengkapan data, artinya memeriksa mestrumen pengumpulan data.
- Mengecek macam isian data. Jika di dalam instrumen termuat sebuah atau beberapa item yang diisi "tidak tau" atau isian lain yang tidak di hendaki oleh peneliti.

• Tubulasi

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Tabulasi data (*the tabulation of the data*).
- Penyimpulan data (*the summarizing of the data*).
- Analisis data untuk tujuan *testing hipotesis*.
- Analisis data untuk tujuan penarikan kesimpulan.

• Penerapan data sesuai dengan pendekatan penelitian

Maksud rumusan yang dikemukakan dalam bagian bab ini adalah pengolahan data yang diperoleh dengan menggunakan rumus-rumus atau aturan-aturan yang ada, sesuai dengan pendekatan penelitian atau desain yang diambil. Maka rumus yang digunakan:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (1)$$

Keterangan:

- n = Banyaknya Pasangan data X dan Y
- $\sum x$ = Total Jumlah dari Variabel X
- $\sum y$ = Total Jumlah dari Variabel Y
- $\sum x^2$ = Kuadrat dari Total Jumlah Variabel X

$\sum y^2$ = Kuadrat dari Total Jumlah Variabel Y

$\sum xy$ = Hasil Perkalian dari Total Jumlah Variabel X dan Variabel Y

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mencapai produk yang berkualitas dapat dilihat dari proses pencapaian dan pemeriksaan produk yang berkualitas pula. Dalam proses pencapaian produk terdapat beberapa tahap pemeriksaan yang akan didapatkan tingkat kualitas dari masing-masing indikator yang menghasilkan kualitas produk itu sendiri berdasarkan tahapannya. Tahap-tahap tersebut ialah :

Check Sheet

• Data Jumlah Porositas dengan Berbagai Variasi Temperatur pada Spesimen Pulley 1

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetran dengan temperatur cetakan 25°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 25°C pada uji spesimen 1

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetran dengan temperatur cetakan 75°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 75°C pada uji spesimen 1

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetran dengan temperatur cetakan 125°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 125°C pada uji spesimen 1

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 175°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 175°C pada uji spesimen 1

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 225°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 225°C pada uji spesimen 1

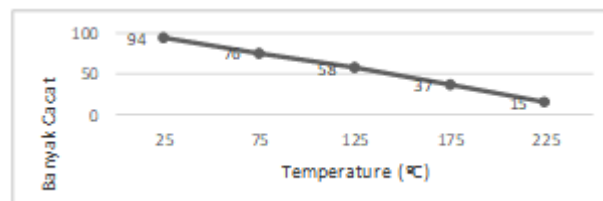
Dengan hasil pengujian menggunakan penetrasi test dapat dianalisa dan diketahui bahwa terjadi cacat lubang (porositas), dapat dibuat tabel seperti berikut :

Tabel 1. Data hasil pengujian porositas pada uji spesimen 1

No.	Temperatur °C	Spesimen	Banyak porositas
1.	25°C	<i>Pulley 1</i>	94
2.	75°C	<i>Pulley 1</i>	76
3.	125°C	<i>Pulley 1</i>	58
4.	175°C	<i>Pulley 1</i>	37
5.	225°C	<i>Pulley 1</i>	15

Menurut Wahyu Suprpto (2017), larutan hydrogen dalam aluminium cair lebih besar dari aluminium padat, akibatnya banyak gas hydrogen yang terjebak pada saat solidifikasi atau pembentukan (p. 112). Jadi berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa pada temperatur 225°C cacat yang terjadi lebih sedikit.

Setelah diperoleh data banyaknya porositas pada uji spesimen 1, data dapat dilihat melalui grafik seperti berikut :



Gambar 11. Grafik Banyak Porositas Yang Dihasilkan Pada Pengujian variasi temperatur cetakan pada uji spesimen pulley 1.

• Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Tuang Timah Dengan Spesimen Silinder

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 25°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 25°C pada uji spesimen 2

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 75°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 75°C pada uji spesimen 2

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 125°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 125°C pada uji spesimen 2

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 175°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 175°C pada uji spesimen 2

Setelah melakukan pengujian menggunakan uji penetrasi dengan temperatur cetakan 225°C, diketahui bahwa terjadi cacat porositas lubang jarum. Seperti pada gambar 16.



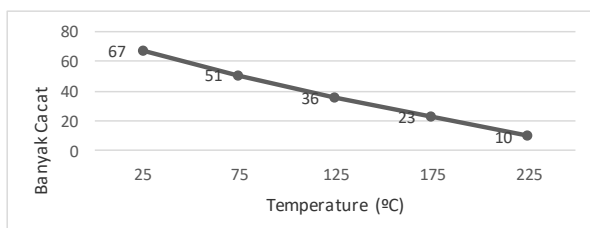
Gambar 16. Hasil pengujian menggunakan penetrant test dengan temperatur cetakan 225°C pada uji spesimen 2

Dengan hasil pengujian menggunakan penetrasi test dapat dianalisa dan diketahui bahwa terjadi cacat lubang (porositas), dapat dibuat tabel seperti berikut :

Tabel 2. Data hasil pengujian porositas pada uji spesimen 2

No.	Temperatur °C	Spesimen	Banyak porositas
1.	25°C	<i>Pulley 2</i>	67
2.	75°C	<i>Pulley 2</i>	51
3.	125°C	<i>Pulley 2</i>	36
4.	175°C	<i>Pulley 2</i>	23
5.	225°C	<i>Pulley 2</i>	10

Setelah diperoleh data banyaknya porositas pada uji spesimen 2, data dapat dilihat melalui grafik seperti berikut :



Gambar 17. Grafik Banyak Porositas Yang Dihasilkan Pada Pengujian variasi temperatur cetakan pada uji spesimen *pulley 2*.

• Pearson Product Moment (spesimen 1)

Tabel 3. Data hasil pengujian porositas pada uji spesimen 1.

No.	Temperatur °C	Spesimen	Banyak porositas
1.	25°C	<i>Pulley 1</i>	94
2.	75°C	<i>Pulley 1</i>	76
3.	125°C	<i>Pulley 1</i>	58
4.	175°C	<i>Pulley 1</i>	37
5.	225°C	<i>Pulley 1</i>	15

Setelah data hasil banyaknya cacat porositas didapatkan, maka langkah pertama adalah mencari nilai X^2 , Y^2 , dan XY . Seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. Menentukan Nilai X^2 dan Y^2 uji spesimen 1

No.	Temperatur °C (X)	Banyak porositas (Y)	X^2	Y^2	XY
1.	25°C	94	625	8836	2350
2.	75°C	76	5625	5776	5700
3.	125°C	58	15625	3364	7250
4.	175°C	37	30625	1369	6475
5.	225°C	15	50625	225	3375
Total	625	280	103125	19570	25150

Setelah nilai X^2 dan Y^2 sudah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam rumus.

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

$$r = \frac{5*(25150) - (625)*(280)}{\sqrt{\{5 * 103125 - (625)^2\} \{5 * 19570 - (280)^2\}}}$$

$$r = \frac{-49250}{\sqrt{125000 * 19450}}$$

$$r = \frac{-49250}{49307,70} \quad r = -0.99$$

jadi koefisien korelasi antara variasi temperatur cetakan dan hasil porositas adalah -0.99 , yang berarti kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang erat. Karena nilai koefisien negatif (-) maka menunjukkan antara data variabel x dan data variabel y berjalan dengan arah yang berlawanan.

• Pearson Product Moment (spesimen 2)

Tabel 5. Data hasil pengujian porositas pada uji spesimen 2

No.	Temperatur °C	Spesimen	Banyak porositas
1.	25°C	<i>Pulley 2</i>	67
2.	75°C	<i>Pulley 2</i>	51
3.	125°C	<i>Pulley 2</i>	36
4.	175°C	<i>Pulley 2</i>	23

5.	225°C	Pulley 2	10
----	-------	----------	----

Setelah data hasil banyaknya cacat porositas didapatkan, maka langkah pertama adalah mencari nilai X2, Y2, dan XY. Seperti pada tabel berikut :

Tabel 6. Menentukan Nilai X² dan Y² uji spesimen 2

No.	Temperatur °C (X)	Banyak porositas (Y)	X ²	Y ²	XY
1.	25°C	67	625	4489	1675
2.	75°C	51	5625	2601	3825
3.	125°C	36	15625	1296	4500
4.	175°C	23	30625	529	4025
5.	225°C	10	50625	100	2250
Total	625	187	103125	9015	16275

Setelah nilai X2 dan Y2 sudah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam rumus.

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

$$r = \frac{5 \cdot 16275 - (625)(187)}{\sqrt{\{5 \cdot 103125 - (625)^2\} \cdot \{5 \cdot 9015 - (187)^2\}}}$$

$$r = \frac{-35500}{\sqrt{125000 \cdot 10106}}$$

$$r = \frac{-35500}{35542.22} \quad r = -0.99$$

jadi koefisien korelasi antara variasi temperatur cetakan dan hasil porositas adalah - 0.99, yang berarti kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang erat. Karena nilai koefisien negatif (-) maka menunjukkan antara data variabel x dan data variabel y berjalan dengan arah yang berlawanan.

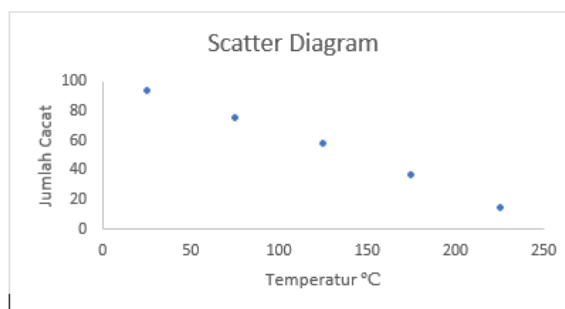
Pembahasan

• Scatter Diagram (spesimen 1)

Tabel 7. Data cacat pada uji spesimen 1

No.	Temperatur °C	Banyak porositas
1.	25°C	94
2.	75°C	76
3.	125°C	58
4.	175°C	37
5.	225°C	15

Untuk mengetahui bagaimana hubungan antara variasi temperatur cetakan terhadap porositas hasil coran pada uji spesimen 1, maka dibuatlah diagram scatter atau diagram tebar seperti pada gambar berikut :



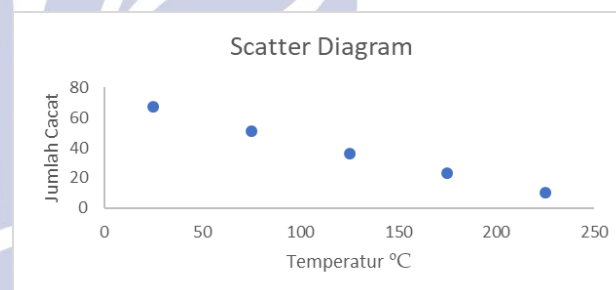
Gambar 18. Diagram Tebar Uji Spesimen 1

• Scatter Diagram (spesimen 2)

Tabel 8. Data cacat pada uji spesimen 1

No.	Temperatur °C	Banyak porositas
1.	25°C	67
2.	75°C	51
3.	125°C	36
4.	175°C	23
5.	225°C	10

Untuk mengetahui bagaimana hubungan antara variasi temperatur cetakan terhadap porositas hasil coran pada uji spesimen 1, maka dibuatlah diagram scatter atau diagram tebar seperti pada gambar berikut :



Gambar 19. Diagram Tebar Uji Spesimen 2

• Diagram Pareto

- Banyak Porositas yang dihasilkan dari cetakan dengan temperatur 25 °C dengan hasil :

Spesimen Pulley 1 : 96
Spesimen Pulley 2 : 67
Total : 163

$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n} = \frac{163}{2} = 81.5$$

- Banyak Porositas yang dihasilkan dari cetakan dengan temperatur 75 °C dengan hasil :

Spesimen Pulley 1 : 76
Spesimen Pulley 2 : 51
Total : 127

$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n} = \frac{127}{2} = 63.5$$

- Banyak Porositas yang dihasilkan dari cetakan dengan temperatur 125 °C dengan hasil :

Spesimen <i>Pulley</i> 1	: 58
Spesimen <i>Pulley</i> 2	: 36
Total	: 94

$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n} = \frac{94}{2} = 47$$

- Banyak Porositas yang dihasilkan dari cetakan dengan temperatur 175 °C dengan hasil :

Spesimen <i>Pulley</i> 1	: 37
Spesimen <i>Pulley</i> 2	: 23
Total	: 60

$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n} = \frac{60}{2} = 30$$

- Banyak Porositas yang dihasilkan dari cetakan dengan temperatur 225 °C dengan hasil :

Spesimen <i>Pulley</i> 1	: 15
Spesimen <i>Pulley</i> 2	: 10
Total	: 25

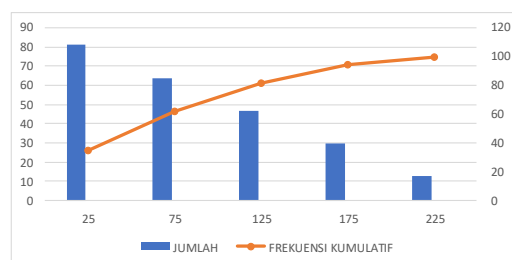
$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n} = \frac{25}{2} = 12.5$$

Untuk menunjukan jumlah cacat dan nilai persentase kumulatif pada pemeriksaan dilihat dari jenis cacat, dapat dilihat pada tabel 4.9 yang digunakan untuk membuat diagram pareto berikut ini :

Tabel 9. Perhitungan Persentase dan Persentase Kumulatif

No	Temperatur (°C)	Jumlah Cacat Rata-Rata	Persen (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	25 °C	81.5	34.75%	34.75%
2	75 °C	63.5	27.07%	61.82%
3	125 °C	47	20.04%	81.86%
4	175 °C	30	12.79%	94.65%
5	225 °C	12.5	5.33%	100%
Total		234.5	100%	

Dari tabel diatas dapat dianalisa dan diketahui jenis cacat mana yang menimbulkan potensi terbesar kegagalan pada saat pemeriksaan. Berdasarkan tabel 4.9 dapat dibuat diagram pareto sebagai berikut :



Gambar 20. Diagram Pareto

PENUTUP

Simpulan

Simpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian variasi temperatur cetakan dengan porositas hasil coran logam aluminium adalah :

- Berdasarkan data penelitian yang dilakukan, hubungan atau korelasi antara temperatur cetakan terhadap porositas hasil coran adalah kuat berlinear negatif, dengan arti semakin tinggi temperatur cetakan maka semakin kecil tingkat porositas yang dihasilkan.
- Setelah dilakukan penelitian menggunakan pengujian non destruktif dapat diketahui dengan temperatur 25°C jumlah rata-rata cacat porositas adalah 81,5 temperatur 75°C jumlah rata-rata cacat porositas adalah 63,5, temperatur 125°C jumlah rata-rata cacat porositas adalah 47, temperatur 175°C jumlah rata-rata cacat porositas adalah 30, dan temperatur 225°C jumlah rata-rata cacat porositas adalah 12,5. Dapat disimpulkan semakin besar temperatur cetakan maka semakin kecil cacat yang dihasilkan.

Saran

Dalam pengujian pengaruh pengaruh porositas dengan temperatur cetakan yang bervariasi tidak lepas dari kekurangan pada proses pengujian serta penyusunan laporan, sehingga perlu saran untuk studi kasus pengaruh porositas dengan temperatur cetakan yang bervariasi adalah:

- Pada proses pengecoran dan pengerjaan produksi sebaiknya dilakukan secara teliti dan sesuai prosedur.
- Mematuhi standart yang dipakai saat proses pengecoran sehingga dapat menghasilkan hasil yang terkontrol dan terkendali.
- Diperlukan pengujian yang lebih detail lagi agar dapat mengetahui tingkat kecacatan, sehingga dapat diketahui cacat apa saja yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead B.H. Djaprie, S. 1995. *Teknologi Mekanik , Edisi ke-7, Jilid I*. Jakarta: PT. Erlangga.
- Arikunto, Suharsimi. 1997. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Joko, P Subagyo. 2011. *Metode Penelitian Dalam Teori Dan Praktik*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Surda, Tata & Chijiwa, Khenji. 1986. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Pramita.
- Suprpto, Wahyu. 2017. *Teknologi Pengecoran Logam*. Malang: UB Press.
- Suherman, Wahid. 1987. *Pengetahuan Bahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.